

# TEM 波 TDR 法によるアカマツの樹木水分の キャリブレーションと野外測定

Field Measurements and Calibration of  
TEM-TDR in Pine Tree Water

開発 一郎\*・中越 康友\*\*・田中 正\*\*\*

Ichiro KAIHOTSU, Yasutomo NAKAGOSHI and Tadashi TANAKA

## I はじめに

土壌-植物-大気連続系 SPAC (soil-plant-atmosphere continuum) における水循環を調べる場合、とくに土壌-樹木系の水分移動の実態を求めることは困難を要する。なぜなら樹木水分を原位置・実時間での測定が従来不可能であったためである。しかし、樹液流の移動と樹木水分貯留を連続的に測定することは、蒸散量の正確な把握や土壌-樹木間の水分移動機構の解明、しいては樹木の育成にも直接関係し、水文学や林学の立場を越えた学際的な面や自然環境保全の点からも重要であると考えられる。

土壌水分量の測定は、Topp et al. (1980) の電磁波 (TEM 波) TDR (time domain reflectometry) 法が現在最も有力な測定方法として認められているが、樹木水分量の測定方法に関してはそれに匹敵するような方法がみられない。確かに、林産工学などの分野では NMR、放射線、電気抵抗など利用した測定方法が従来示されてきている (Skaar, 1988) が、それらは自然樹木の水分を測定するものではなく、切り出した木材としての水分状態を調べることを目的としたものであったため、原位置での連続測

定への適用は困難であった。しかし、近年、Constantz and Murphy (1990) が森林水文学の立場から初めて電磁波 TDR 法を用いて樹木 (マツ属) の原位置・連続水分測定を試みた。キャリブレーション実験の結果は十分でないものの、電磁波 TDR 法が樹木水分測定に有効であると示唆した。

本研究はこのような立場から、土壌と樹木の水分変化を原位置で連続的に一環して捉える方法を探すべく、Constantz and Murphy (1990) の問題点を補いながら、電磁波 TDR 法を樹木水分測定の最適な方法と考え、その適用のためのキャリブレーション実験と実際の観測を試みることを目的としたものである。

## II 方法

### 1) キャリブレーション実験

試料はアカマツ (常緑針葉樹マツ綱, マツ目, マツ属) であり、樹齢が43年、胸高直径と樹高がそれぞれ約 13cm と約 13m のものを用いた。樹木断面には心材はほとんど見られなかった。

誘電率の測定には TDR ケーブルテスター (Tektronix 1502B) と真鍮製 2 線プローブ (ロッド長 10

\*広島大学総合科学部 \*\*広島大学・院・生物圏研究科 \*\*\*筑波大学地球科学学系

cm, 極間 3 cm, 太さ 3.5mm) を用いた。

アカマツを伐採後, 所定の大きさ (長さ 13cm) に切り, 直ちに樹皮を剥いて脱気超純水に浸けて自然に浸透させながら, 飽和させた。飽和後速やかに重量を測定し, 試料に真鍮製 2 線プローブ (ロッド長 10cm, 極間 3 cm, 太さ 3.5mm) を軸方向に垂直に挿入し, 誘電率を測定した。以後, 自然に室温乾燥させながら試料重量の減少とともに誘電率を測定した。室温乾燥 (室温 15-20℃, 湿度 55-78%) での重量変化が見られなくなつてから, 乾燥機に試料を入れ, 後述の重量変化曲線を考慮しながら一定の時間間隔で 55℃, 75℃, 105℃ の状態で乾燥させ, 最終的に

第 1 表 キャリブレーション実験の試料の重量変化曲線 (図中のアルファベットは第 1 表に対応している)

第 1 図中の点	実験操作	温度	期間 (日)
a	飽和	室温 (約 20℃)	[ 1 ]
b	覆いを被せる		19 [ 9 ]
c	覆いをとる		[ 9 ]
d	オープン乾燥を始める	55℃	1
e	一時中断	室温	2
f	再開	55℃	2
g	設定温度を上昇	75℃	9
h	設定温度を上昇	105℃	4
i	乾燥終了		

絶乾重量にした (第 1 表)。飽和時, 測定時, 最終時の重量から各体積水分量を割り出した。試料の飽和時と乾燥後の試料の相当直径や高さをそれぞれ測定した。

## 2) 野外観測

測定対象樹木はキャリブレーション実験と同じくアカマツである。試験地は筑波大学水理実験センター棟の南の隣接植林地であった。試験樹木は 2 本①②であり, それらの胸高直径は約 20cm と約 14.5cm で, いずれも樹高は 12m を越えていた。また, 樹齢は植林の記録と周辺の樹木から判断して約 40 年と考えられた。

観測機材としては, キャリブレーション実験と同じ TDR ケーブルテスター (Tektronix 1502B) と

自作のケーブルテスター用真鍮製 2 線プローブ (ロッド長 8 cm, 極間 3 cm, 太さ 3.5mm) を用いた。

測定樹木の胸高 (約 1 m) と 2 m の高さおよび根元の北・南側にケーブルテスター用真鍮 2 線プローブをそれぞれ挿入した。プローブの挿入位置はいずれも枝下高以下であった。測定は集中的に真夏に, 2 時間間隔を基本として実施した。

## III 結果と考察

### 1) 誘電率と樹木体積水分量の関係

実験を通しての試料の重量変化の結果を第 1 図に示す。図中のアルファベットは作業手順を意味しており, a から d までは飽和試料を室温で自然乾燥させ, b から c までは急激な乾燥を避けるため (キレツが生じない様にさせるため) 覆いをしながら乾燥させた。試料の飽和重量は 4090 g, 絶乾重量は 2218 g, 体積は 4108cm<sup>3</sup> 間隔率は 45.6% (体積変化を考慮した)。絶乾後は試料断面に若干のキレツが見られたが, これは g 以降の乾燥で生じたものである。

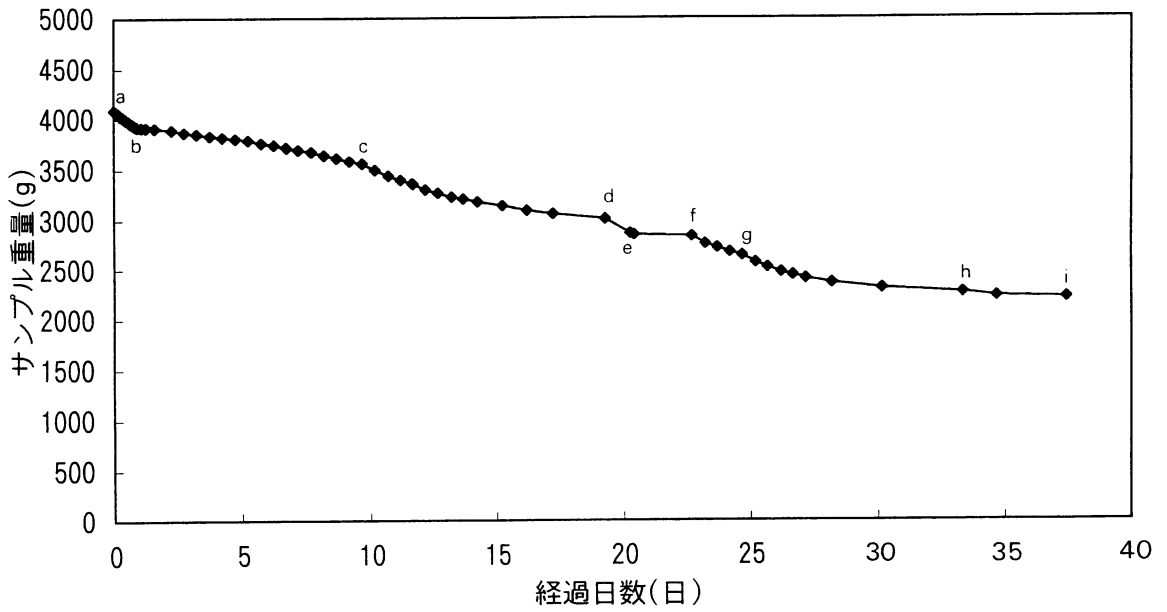
第 2 図はキャリブレーション実験結果の試料の比誘電率 D と体積水分量  $\theta$  の関係を示したものである。図から一見して両者に一価の関係があることが分かる。Constantz and Murphy (1990) の結果では低水分領域でのキャリブレーション実験が行われておらず, マツのキャリブレーション式として提示されたものは十分なものではなかったが, 本実験結果は飽和までの全水分領域の関係をj得ている。

第 2 図のデータについて 1 次, 2 次の回帰を試みたが, 1 次については低水分領域での予測が悪く, 2 次と 3 次については両者にほとんど差はなかった。よつて Topp et al. (1980) に従つてアカマツのキャリブレーション式を 3 次回帰として求めると以下のようになつた。

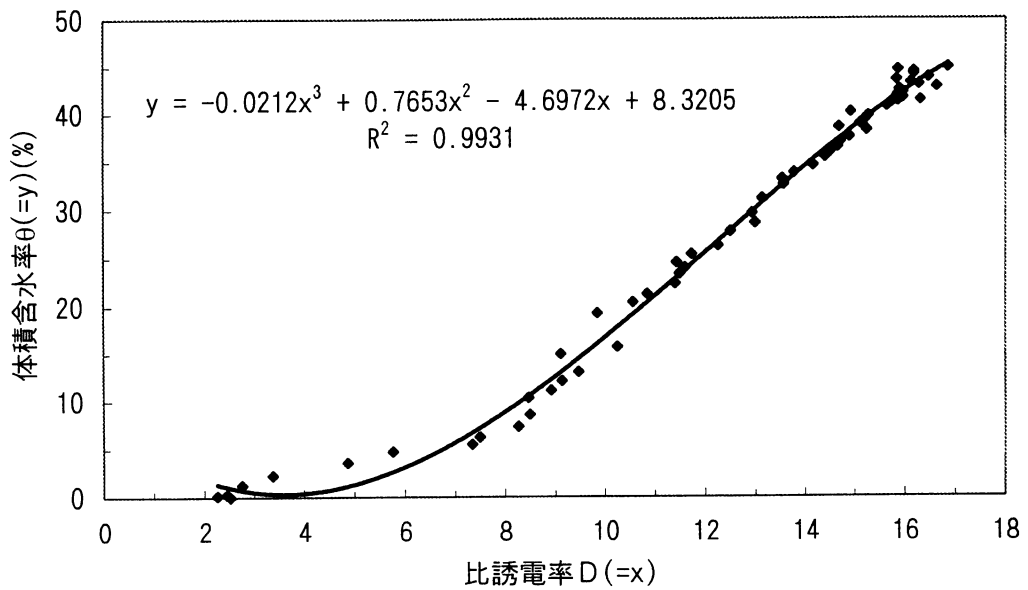
$$\theta = -0.0212D^3 + 0.7653D^2 - 4.6972D + 8.3205$$

$$(R^2 \text{ (決定係数)} = 0.9931) \quad (1)$$

この結果と Constantz and Murphy (1990) ののとをくらべると, 飽和近くで同一の比誘電率で最大約 10% の水分量差が生じたが, 全般的には中-低飽和度領域ではその差は約 1% と小さかつた。樹木自身



第1図 キャリブレーション実験の試料の重量変化曲線  
 (図中のアルファベットは第1表に対応している)



第2図 誘電率Dと試料樹木の体積水分量θの関係

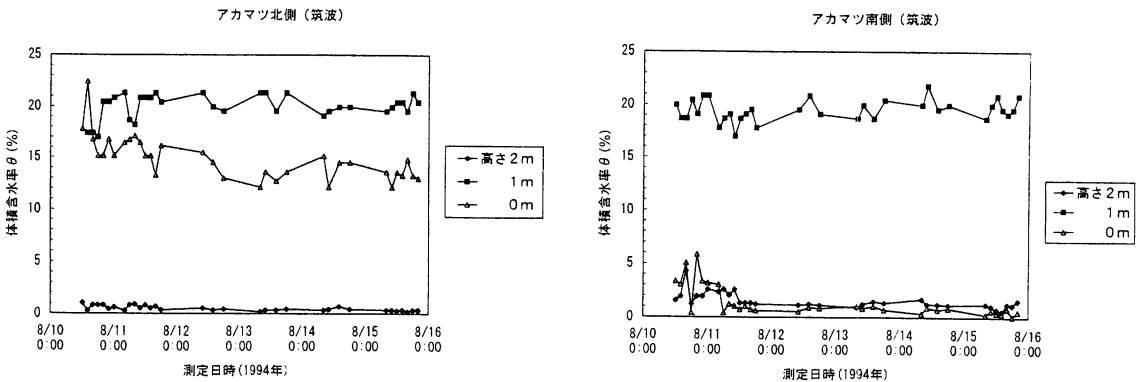
の構造から考えてマツ属の樹木水分測定に本結果と Constantz and Murphy (1990) の結果を平均した式は、マツ属の TEM 波 TDR 法による水分測定のためのキャリブレーション式として有効である可能性が高いと考えられる。

(1) 式と Topp et al. (1980) が示した無機土壌のためのキャリブレーション式とくらべると、量的にはかなりの差が生じ、やはり TEM 波 TDR 法による樹木水分には独自のキャリブレーション式が必要と思われる。しかし、これは土壌と樹木の構造や有機物に対する電気特性の違いから当然予想されたことであり、針葉樹林であるマツ以外の樹木、例えば針葉樹林と構造が明らかに異なる環孔材や散孔材を有する広葉樹林等についてもキャリブレーション実験を行わなければ一般的なことはいえない。

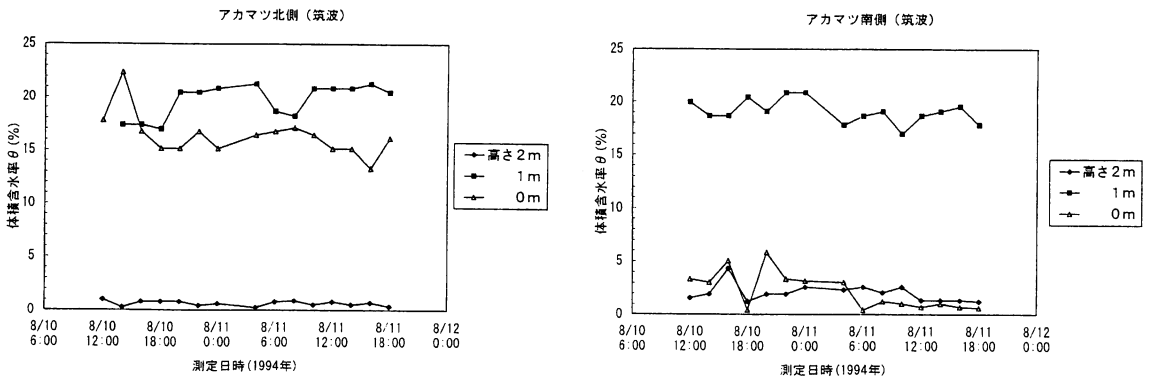
## 2) アカマツ自然樹木の水分変化

式 (1) を用いて野外測定を行った結果を図示したものが第 3 - 4 図である。これらの図を見ると、まず、北側と南側および高さによって水分分布が異なることが分かる。第 3 図から樹木①の北側も南側も高さ 2 m の水分量は小さく、高さ 1 m の水分量ももっとも高いことが分かる。これは枝下高樹幹の水分が南側よりも北側の方が多ことを示している。樹木の水分は螺旋状に移動するともいわれており、樹木水分分布はその結果とも考えられる。この傾向は樹木②についても見られ、第 4 図の a と b はそれを良く表している。

各プローブの樹木水分の変化をみると、日変化と思われるものがある。第 3 図 a の高さ 1 m と 0 m の水分変化を注意深くみると、昼間より夜間の方が水



第 3 図 樹木①の水分の観測結果 (図の右側の「高さ」はプローブの挿入位置)



第 4 図 樹木②の水分の観測結果 (図の右側の「高さ」はプローブの挿入位置)

分量が相対的に高くなるような変化を示している。第4図の結果でもその様な傾向がみとれる。これは蒸散活動に伴う水分貯留のためかもしれない。

#### IV おわりに

本研究は当初の予定通り、アカマツの電磁波 TD R法のキャリブレーション式を得ることができた。得られたキャリブレーション式はマツ属の樹木への適用の可能性が高いと思われる。また、この式を用いて野外測定を試みた。測定データは十分でないため、蒸散、土壤水分移動との関係を SPACの一連の現象として捉えるまでにはいたらなかったが、枝下高樹幹に偏った水分分布があることや日変化の可能性について議論できた。しかし、樹木へのプローブ挿入は樹木の治癒作用によって水分減少をもたらすこと(佐藤・堤, 1978, 158-159p)もあり、今

後さらなる観測が必要と考えられる。

#### 謝 辞

本観測を実施するに当たり、杉田倫明講師に種々の便宜をはかっていただいた。記して感謝いたします。尚、本研究は、日産科学財団からの第21回学術研究助成の一部を実施したものである。

#### 参考文献

- 佐藤大七郎・堤利夫(1978):「樹木」, 文永堂, 東京, 309p
- Skaar, C. (1988): *Wood-Water Relations*, Springer-Verlag, Berlin, 283p.
- Topp, G. C., Davis, J. L. and Annan, A. P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.*, **16**, 574-582.